

ИЗМЕНЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СИЛУМИНА, ОБРАБОТАННОГО ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Алсараева Кристина Владимировна

Руководитель – профессор, д.ф.-м.н. Громов Виктор Евгеньевич
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк

alsaraeva_kv@physics.sibsiu.ru

Методами оптической и сканирующей электронной микроскопии выявлены закономерности формирования структуры силумина, подвергнутого облучению высокоинтенсивным электронным пучком в различных режимах. Выявлен режим облучения, позволяющий повысить усталостную долговечность материала до 3,5 раз, и обсуждены возможные причины эффекта.

Сплавы алюминия с кремнием (силумины) эвтектического состава, обладая высокими удельными механическими свойствами, являются хрупким, трудно деформируемым материалом. Для расширения областей применения этих сплавов в авиационной, автомобилестроительной и других отраслях промышленности необходимо существенно улучшить их структуру и повысить пластические свойства. Одним из перспективных методов целенаправленной модификации структурно-фазового состояния поверхностного слоя металлов и сплавов является электронно-пучковая обработка (ЭПО), для установления оптимальных режимов которой необходимо знание закономерностей и физических механизмов формирования структуры, фазового состава, дефектной субструктуры поверхностных слоев при электронно-пучковом облучении [1].

Целью данной работы являлось обнаружение закономерностей формирования структуры и усталостной долговечности эвтектического силумина состава Al-10%Si при обработке высокоинтенсивным импульсным электронным пучком и последующем циклическом нагружении до разрушения.

Образцы размерами 8x14x145 мм³ облучались электронным пучком на установке «СОЛО» [2]. Последующие усталостные испытания проводили по схеме циклического асимметричного консольного изгиба.

Выполненные усталостные испытания образцов силумина показали, что зависимость количества циклов до разрушения от режима облучения высокоинтенсивным импульсным электронным пучком носит немонотонный характер (Табл. 1). Режим облучения № 4 обеспечивал наибольшее увеличение усталостной долговечности (~3,5 раза).

Таблица 1. Зависимость числа циклов до разрушения от режима облучения электронным пучком. Исходное число циклов до разрушения – $N=1,3 \cdot 10^5$.

№ режима	Плотность энергии пучка, E_s , Дж/см ²	Время воздействия, τ , мкс	Количество импульсов, n , имп	$\langle N \rangle$, 10^5 , циклы
1	20	150	1	1,32
2	15	150	3	1,80
3	25	150	3	2,7
4	20	150	5	5,17
5	10	50	5	2,09

Очевидно, что усталостная долговечность силумина определяется в первую очередь структурой модифицированного при электронно-пучковой обработке поверхностного слоя. Для структурных исследований поверхности облучения силумина были выбраны образцы, показавшие минимальную (при режиме №2) и максимальную (при режиме №4) усталостную долговечность.

Микроструктура эвтектических силуминов в литом состоянии содержит алюмо-кремниевую эвтектику (Al+Si), в которой располагаются кристаллы первичного кремния пластинчатой формы, размер которых изменяется в пределах от единиц до сотни микрометров.

Характерные изображения структуры поверхностного слоя силумина, подвергнутого электронно-пучковой обработке по режиму № 2 и показавшему при испытаниях минимальную усталостную долговечность, приведены на рис. 1, а, б. Анализ структурного состояния модифицированной поверхности показывает, что высокоскоростная термическая обработка, имеющая место при облучении электронным пучком, привела к плавлению лишь алюминия и формированию многочисленных микропор и микротрещин, расположенных в пластинах кремния. Пластины кремния являются концентраторами напряжения, т.е. источниками микро- и макротрещин в условиях усталостных испытаний (рис. 1, б). Эти особенности структуры, формирующейся при указанном режиме облучения, при одновременном их действии не обеспечили повышение усталостной долговечности силумина.

Из характерных изображений структуры поверхности силумина, обработанного высокоинтенсивным импульсным пучком электронов по режиму №4 (рис. 1, в-д), видно, что на поверхности облучения формируется однородная структура зеренного типа. Зерна, размер которых изменяется в пределах 30...50 мкм, разделены прослойками кремния, поперечные размеры которых не превышают 20 мкм (рис. 1, г). Концентраторы напряжений, способные являться источниками разрушения силумина при данном режиме облучения, на кромке излома не обнаруживаются. По-видимому,

концентраторы, являющиеся причиной разрушения образца, располагаются под поверхностью, скорее всего, на границе раздела жидкой и твердой фаз.

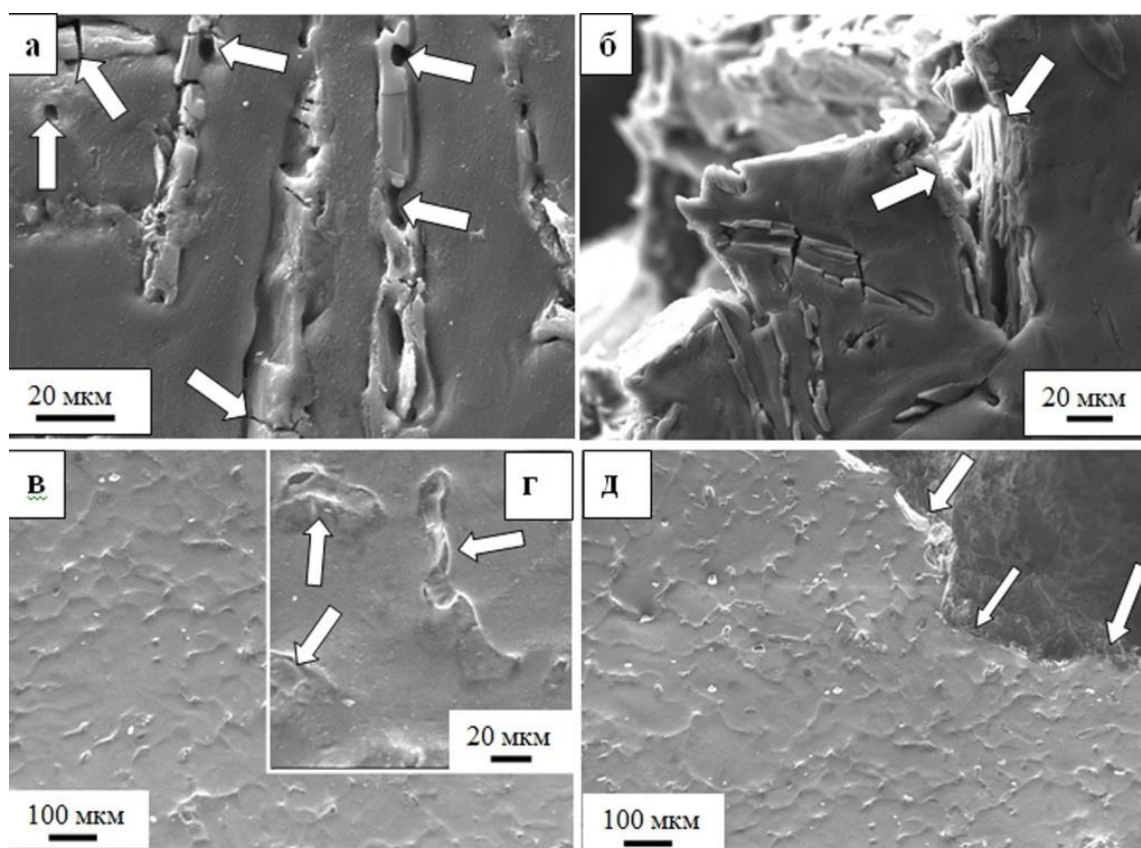


Рис. 1. Структура поверхности эвтектического силумина, обработанного высокоинтенсивным импульсным электронным пучком по режиму №2 (а, б) и №4 (в-д). Стрелками на (а) указаны микропоры и микротрещины; на (б) – концентратор напряжений (пластина кремния), явившийся источником зарождения макротрещины при усталостных испытаниях; на (г) – частицы кремния; на (д) – кромка усталостного излома образца.

Таким образом, в ходе исследований выявлен режим облучения электронным пучком, позволивший повысить усталостную долговечность эвтектического силумина в более чем в 3,5 раза. Высокоскоростное плавление и последующая кристаллизация поверхностного слоя с образованием структуры ячеистого типа с распределенными по границам ячеек прослойками избыточного кремния являются основной причиной увеличения усталостной долговечности силумина. Высказано предположение о том, что при оптимальном режиме облучения концентраторы напряжений формируются в подповерхностном слое на границе раздела жидкой и твердой фаз.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Иванов Ю.Ф., Громов В.Е., Гришунин В.А. и др. Структура поверхностного слоя и усталостная долговечность рельсовой стали, облученной высокоинтенсивным электронным пучком // Физическая мезомеханика. 2013. Т. 16. № 2. С. 47 – 53.
2. Ласковнев А.П., Иванов Ю.Ф., Петрикова Е.А. и др. Модификация структуры и свойств эвтектического силумина электронно-ионно-плазменной обработкой. Минск: «Белорусская наука». 2013. 287 с.